

- Относительная погрешность  $\delta_S$  площади отверстия

$$\delta_S \equiv \frac{\Delta S_2}{\langle S_2 \rangle} = \sqrt{\left(\frac{5\Delta_1}{\langle \Delta t \rangle}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta_2}{\langle \Delta X \rangle}\right)^2} =$$

- Относительная погрешность в процентах

$$\delta_S \cdot 100\% =$$

- Абсолютная погрешность площади отверстия

$$\Delta S_2 = \delta_S \cdot \langle S_2 \rangle =$$

**Окончательные результаты:**

Площадь отверстия  $S_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  ±  $\underline{\hspace{2cm}}$  см<sup>2</sup>;

Плотность жидкости  $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$  г/см<sup>3</sup>;

Концентрация примеси  $\eta = \underline{\hspace{2cm}} \%$ .

**Выводы:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Отчет по лабораторной работе МодТ – 01**

**ВЫТЕКАНИЕ ЖИДКОСТИ  
ИЗ МАЛОГО ОТВЕРСТИЯ**

Студент(ка) \_\_\_\_\_ гр. \_\_\_\_\_  
Фамилия И.О.

ДОПУСК	ДАННЫЕ	РЕЗУЛЬТАТЫ
дата, подпись преподавателя	дата, подпись преподавателя	дата, подпись преподавателя

**Цель работы:** изучение явления вытекания идеальной несжимаемой жидкости из малого отверстия и движение струи жидкости под действием силы тяжести. Определение площади отверстия, плотности жидкости и концентрации примеси в ней.

**Краткое теоретическое содержание работы**

жидкость называется *идеальной*. Жидкость считается *несжимаемой*, если \_\_\_\_\_

Течение жидкости называется ламинарным, если \_\_\_\_\_

Течение жидкости называется стационарным, если \_\_\_\_\_

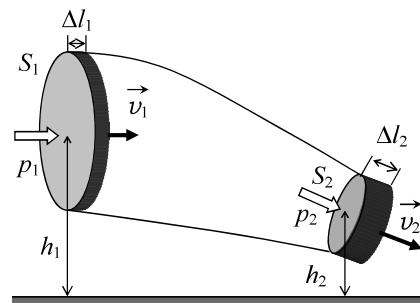
Уравнение неразрывности для идеальной несжимаемой жидкости:

где  $v_1 = \underline{\hspace{2cm}}$   $v_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

$S_1 = \underline{\hspace{2cm}}$   $S_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

Уравнение Бернулли для стационарного течения жидкости:

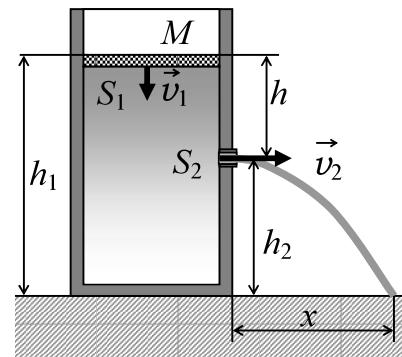
где  $\rho$  – \_\_\_\_\_  
 $v$  – \_\_\_\_\_  
 $h$  – \_\_\_\_\_  
 $p$  – \_\_\_\_\_



### Истечение идеальной несжимаемой жидкости через отверстие в стенке сосуда

Скорость истечения жидкости

$v_2 =$   
 при условии \_\_\_\_\_  
 где  $S_1$  – \_\_\_\_\_  
 $h$  – \_\_\_\_\_  
 $\rho$  – \_\_\_\_\_  
 $M$  – \_\_\_\_\_  
 Формула Торричелли:  $v_2 =$



Зависимость скорости истечения жидкости из малого отверстия от времени:

$$v_2 =$$

где  $h_0$  – \_\_\_\_\_

Если площадь поперечного сечения  $S_2$  отверстия мала, и сопротивлением воздуха можно пренебречь, струю жидкости, покинувшую сосуд, можно описать как совокупность независимых материальных точек, вылетающих из отверстия с горизонтально направленной скоростью. Тогда зависимость дальности падения струи жидкости от времени

$\Delta t_i$  – экспериментальные данные времени вытекания для одной и той же массы поршня;  $\Delta X_i$  – экспериментальные данные длины следа для одной и той же массы поршня;  $n = \underline{\hspace{2cm}}$  – количество экспериментов с одной и той же массой поршня.

- **Среднее время вытекания  $\langle \Delta t \rangle$**

$$\langle \Delta t \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta t_i =$$

- **Средняя длина следа  $\langle \Delta X \rangle$**

$$\langle \Delta X \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i =$$

- **Дисперсия времени вытекания  $\sigma_t$**

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle \Delta t \rangle - \Delta t_i)^2}{n(n-1)}} =$$

- **Дисперсия длины следа  $\sigma_X$**

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle \Delta X \rangle - \Delta X_i)^2}{n(n-1)}} =$$

- **Случайная ошибка  $\Delta t_{cl}$  и ошибка однократных измерений  $\Delta t_{odn}$  времени вытекания**

$$\Delta t_{cl} = t_{an} \cdot \sigma_t = \underline{\hspace{2cm}} ; \Delta t_{odn} = \alpha \cdot \Delta_{np} = 9,9 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

где коэффициент Стьюдента  $t_{an} = 5,84$ ; доверительная вероятность  $\alpha = 0,99$ ; цена деления секундомера  $\Delta_{np} = 1 \text{ мс.}$

- **Случайная ошибка  $\Delta X_{cl}$  и ошибка однократных измерений  $\Delta X_{odn}$  длины следа**

$$\Delta X_{cl} = t_{an} \cdot \sigma_X = \underline{\hspace{2cm}} ; \Delta X_{odn} = \alpha \cdot \Delta_{np} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см.}$$

где коэффициент Стьюдента  $t_{an} = 5,84$ ; доверительная вероятность  $\alpha = 0,99$ ;

цена деления линейки  $\Delta_{np} = \underline{\hspace{2cm}}$  см.

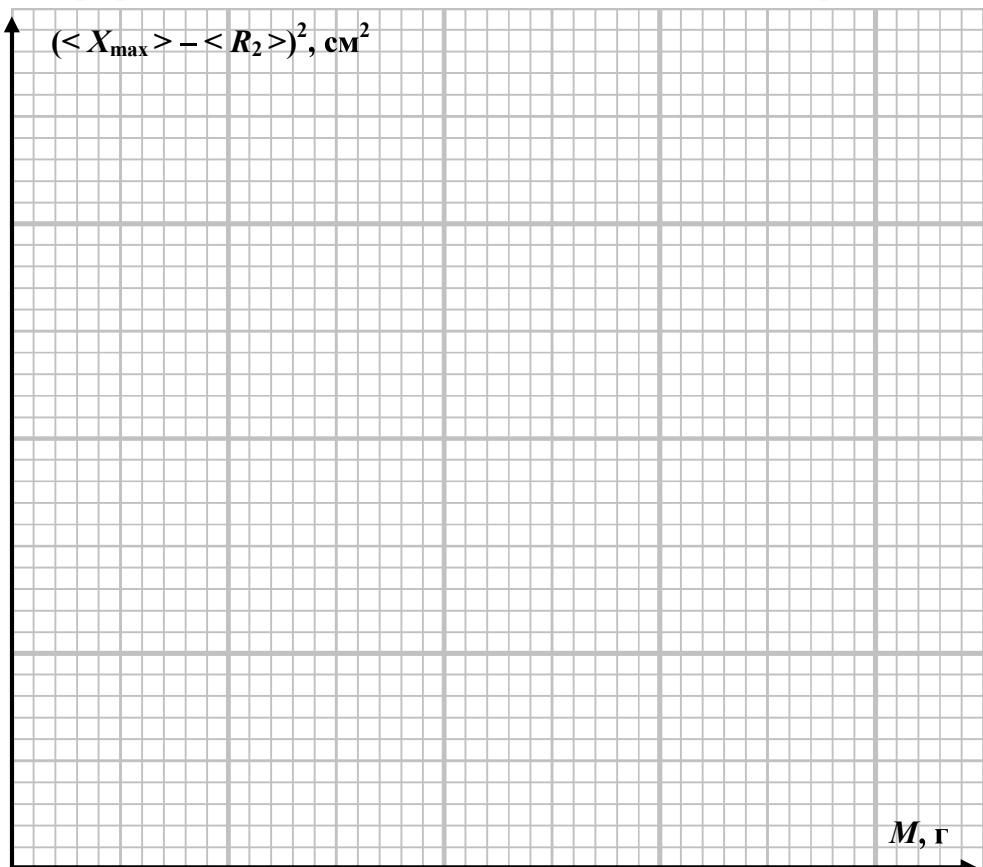
- **Погрешность измерения времени вытекания  $\Delta_1$**

$$\Delta_1 = \sqrt{(\Delta t_{cl})^2 + (\Delta t_{odn})^2} =$$

- **Погрешность измерения длины следа  $\Delta_2$**

$$\Delta_2 = \sqrt{(\Delta X_{cl})^2 + (\Delta X_{odn})^2} =$$

## График зависимости $(X_{\max} - R_2)^2$ от массы поршня $M$



Из графика  $\operatorname{tg} \alpha =$

Плотность  $\rho =$

Концентрация примеси  $\eta =$

Концентрация примеси в процентах  $\eta \cdot 100\% =$

### Обработка результатов

Для расчета погрешности выбирают данные из эксперимента со средним значением массы поршня\*.

$$x =$$

где  $h_2 =$  \_\_\_\_\_

Зная время вытекания жидкости  $\Delta t$  и длину следа  $\Delta X$ , можно определить площадь отверстия  $S_2$

$$S_2 =$$

Из графика зависимости  $(X_{\max} - R_2)^2$  от массы поршня  $M$  по тангенсу угла наклона  $\operatorname{tg} \alpha$  графика можно определить плотность жидкости

$$\rho =$$

где  $h_2 =$  \_\_\_\_\_,  $S_1 =$  \_\_\_\_\_

Концентрация примесей  $\eta$

$$\eta =$$

где  $\rho_0 =$  \_\_\_\_\_

### Эксперимент

В данной работе с помощью средств компьютерной графики моделируется процесс вытекания идеальной несжимаемой жидкости из цилиндрического сосуда через круглое отверстие малого диаметра (ламинарное течение). Сопротивление окружающей среды отсутствует. Движение жидкости вне сосуда моделируется как движение совокупности независимых материальных точек. Жидкость накрыта поршнем, который может двигаться в сосуде без трения.

### Начальные данные

Вариант № \_\_\_\_\_

Жидкость	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Объем, см <sup>3</sup>	Первоначальная высота столба жидкости, см

Сосуд	Диаметр сосуда, см	Площадь основания сосуда, см <sup>2</sup>	Диаметр отверстия, см	Площадь отверстия, см <sup>2</sup>	Высота, на которой рас- положено отверстие от дна сосуда, см
№ _____					

$$g = 981 \text{ см}/\text{с}^2; \quad U = \sqrt{2h_2g} = \text{_____ см}/\text{с}$$

Цена деления линейки: \_\_\_\_\_ см (в масштабе 500%)

### Результаты измерений

*	50	Масса поршня $M$ , г	
		Время вытекания жидкости $\Delta t$ , с	
		Максимальная дальность падения струи $X_{\max}$ , см	
		Минимальная дальность падения струи $X_{\min}$ , см	
		Длина следа $\Delta X$ , см	
		Площадь отверстия $S_2$ , $\text{см}^2$	
		Средняя максимальная дальность падения струи $\langle X_{\max} \rangle$ , см	
		$(\langle X_{\max} \rangle - \langle R_2 \rangle)^2$ , $\text{см}^2$	

	Масса поршня $M$ , г	
	Время вытекания жидкости $\Delta t$ , с	
	Максимальная дальность падения струи $X_{\max}$ , см	
	Минимальная дальность падения струи $X_{\min}$ , см	
	Длина следа $\Delta X$ , см	
	Площадь отверстия $S_2$ , $\text{см}^2$	
	Средняя максимальная дальность падения струи $\langle X_{\max} \rangle$ , см	
	$(\langle X_{\max} \rangle - \langle R_2 \rangle)^2$ , $\text{см}^2$	
	Среднее значение площади отверстия $\langle S_2 \rangle$ :	
	Среднее значение радиуса отверстия $\langle R_2 \rangle$ :	

\* По данным этой серии измерений вычислять погрешность.